

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-121930

(43)Date of publication of application : 28.04.2000

(51)Int.Cl.

G02B 13/00
G02B 21/00
G11B 7/004
G11B 7/135

(21)Application number : 10-292105

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 14.10.1998

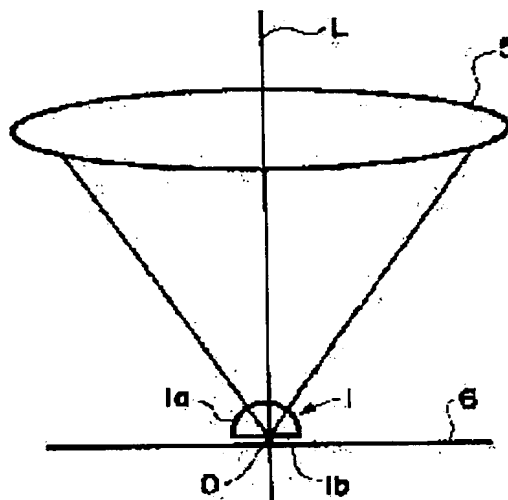
(72)Inventor : OKI YASUSHI

(54) IMAGE OPTIC SYSTEM USING SOLID IMMERSION LENS AS WELL AS OPTICAL DISK RECORDING AND REPRODUCING DEVICE AND MICROSCOPE USING THE IMAGE OPTIC SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain an image optic system having a solid immersion lens of an optimum size with respect to a visual field radius required from the standpoint of an optical aberration.

SOLUTION: This image optic system has an objective lens 5 and the solid immersion lens 1 disposed on its optical axis L. The solid immersion lens 1 is composed to have a planoconvex lens shape having a convex spherical lens face 1a having a prescribed radius R of curvature having the image forming point O on the optical axis of the objective lens 5 as the center of the curvature and a plane-shaped lens face 1b perpendicular to the optical axis of the objective lens 5 through the center of the curvature. The convex spherical lens face 1a is directed to the objective lens 5 side and the plane-shaped lens face 1b is disposed in extreme proximity to an image forming face 6. In addition, the diameter ϕ of the solid immersion lens satisfies the following conditions $0.6n \cdot NA^2 \cdot r^2 \leq \phi \leq 3.2n \cdot NA^2 \cdot r^2$ (where, the units of lengths are all in millimeter) with respect to the numerical aperture NA of the image optic system, the refractive index (n) of the solid immersion lens, the required visual field radius (r) and the wavelength λ of the light to be used.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

BEST AVAILABLE COPY

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-121930

(P2000-121930A)

(43) 公開日 平成12年4月28日 (2000. 4. 28)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
G 0 2 B 13/00		G 0 2 B 13/00	2 H 0 5 2
	21/00	21/00	2 H 0 8 7
G 1 1 B 7/004		G 1 1 B 7/00	6 2 6 B 5 D 0 9 0
	7/135	7/135	Z 5 D 1 1 9

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平10-292105

(22) 出願日 平成10年10月14日 (1998. 10. 14)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 大木 裕史

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号、株式会社ニコン内

(74) 代理人 100092897

弁理士 大西 正悟

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 固体浸レンズを用いた結像光学系並びにこの結像光学系を用いた光ディスク記録再生装置および顕微鏡

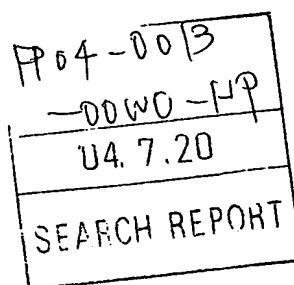
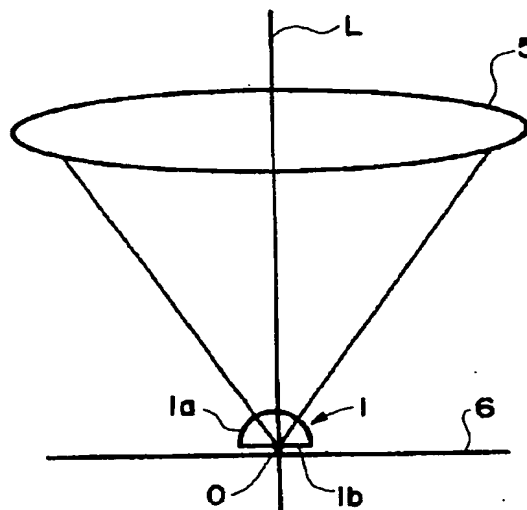
(57) 【要約】

【課題】 光学収差の見地から、要求される視野半径に対して最適なサイズの固体浸レンズを有した結像光学系を得る。

【解決手段】 対物レンズ5とその光軸L上に配設された固体浸レンズ1とを備えて結像光学系が構成される。この固体浸レンズ1が、対物レンズ5の光軸上の結像点Oを曲率中心とする所定曲率半径Rの凸球面状レンズ面1aと、この曲率中心を通り対物レンズ5の光軸に直角な平面状レンズ面1bとを有する平凸レンズ形状に構成され、凸球面状レンズ面1aを対物レンズ5側に向けるとともに平面状レンズ面1bを結像面6に極く近接して配設される。その上で、この結像光学系の開口数NAと、固体浸レンズの屈折率nと、要求される視野半径rと、使用する光の波長λとに対して、固体浸レンズの直径φが、次の条件式

$$0.6n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^{-1} \leq \phi \leq 3.2n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^{-1}$$

(但し、長さの単位はすべてミリメートル) を満足する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 対物レンズと、この対物レンズの光軸上に配設された固体浸レンズとを備え、

前記固体浸レンズが、前記対物レンズの光軸上の結像点を曲率中心とする所定曲率半径 R の凸球面状レンズ面と、前記曲率中心を通り前記対物レンズの光軸に直角な平面状レンズ面とを有する平凸レンズ形状に構成され、前記凸球面状レンズ面を前記対物レンズ側に向けるとともに前記平面状レンズ面を結像面に極く近接して配設してなる結像光学系において、

前記結像光学系の開口数 NA と、前記固体浸レンズの屈折率 n と、要求される視野半径 r と、使用する光の波長 λ とに対して、前記固体浸レンズの直径 ϕ が、条件式 $0.6n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^{-1} \leq \phi \leq 3.2n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^{-1}$

(但し、長さの単位はすべてミリメートル) を満足することを特徴とする結像光学系。

【請求項 2】 光ディスクの記録・再生用の光学系として使用される結像光学系であって、前記固体浸レンズの前記平面状レンズ面が前記光ディスクの記録・再生面に極く近接して配設され、

前記要求される視野半径 r は、トラッキング制御においてトラックを数本〜数十本の範囲で操作するファインシークに要求される光ディスク上のレーザースポット変位量であることを特徴とする請求項 1 に記載の結像光学系。

【請求項 3】 前記固体浸レンズの直径 ϕ が、さらに条件式

$$0.6n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^{-1} \leq \phi \leq 1.4n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^{-1}$$

(但し、長さの単位はすべてミリメートル) を満足することを特徴とする請求項 2 に記載の結像光学系。

【請求項 4】 前記対物レンズが回折格子からなることを特徴とする請求項 1〜3 のいずれかに記載の結像光学系。

【請求項 5】 請求項 1〜4 のいずれかに記載の結像光学系を用いて構成される光ディスク記録再生装置であって、

前記固体浸レンズの前記平面状レンズ面が光記録再生用の記録媒体の表面に極く近接して配設され、対物レンズにより集光されて入射される光源からの光により前記平面状レンズ面に集光スポットを形成させ、この集光スポットを形成する光を用いて前記記録媒体への情報記録および再生を行わせるように構成されていることを特徴とする光ディスク記録再生装置。

【請求項 6】 請求項 1〜4 のいずれかに記載の結像光学系を顕微鏡対物レンズとして用いて構成される顕微鏡であって、

前記固体浸レンズの前記平面状レンズ面が観察対象の表面に極く近接して配設されて構成されることを特徴とす

る顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、固体浸レンズ（ソリッドイマージョンレンズもしくは S I L とも称される）を用いた結像光学系に関し、さらに、この結像光学系を用いて構成される光ディスク記録再生装置や顕微鏡に関する。

【0002】

- 10 【従来の技術】 固体浸レンズを結像光学系に用いることは、S.M.Mansfield and G.S.Kino, Appl.Phys.Lett. 57, 2615 (1990) または S.M.Mansfield et al., Opt.Lett. 18, 305 (1993) 等に示されており、従来から知られている。この結像光学系は、対物レンズの焦点近傍に微小な半球状の平凸レンズを凸球面が対物レンズ側に向けて配設して構成され、実質的に光学系の開口数を上げるように構成される。ここで用いられる固体浸レンズは、対物レンズの焦点に曲率中心を持つ半球タイプのも
- 20 と、光軸上のレンズ厚さが曲率半径の $(1 + 1/n)$ 倍である超半球タイプのもものが検討されてきた。また、このような固体浸レンズを用いた結像光学系を用いて、例えば、光ディスクへの情報の記録再生を行う光記録再生装置を構成することが知られている（例えば、米国特許第 5,004,307 号、同第 5,121,256 号、同第 5,125,750 号等）。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 このように構成される結像光学系において、固体浸レンズは対物レンズの焦点近傍に配設される微小な半球状もしくは超半球状の平凸レンズからなるが、固体浸レンズのサイズ、タイプなどについてはあまり詳しく検討されていなかった。例えば、光学的な収差といった見地から見て半球タイプと超半球タイプのいずれを用いるのが好ましいかといったことや、光記録再生装置で使用するには固体浸レンズはできるだけ小さくする方が有利と考えられるが下限サイズはどこにあるか等といったこと等の検討はあまり行われていなかった。

【0004】 このようなことから本発明は、光学的な収差という見地から、要求される視野半径に対して最適なサイズの固体浸レンズを有した結像光学系を提供すること、並びにこの結像光学系を用いた光ディスク記録再生装置および顕微鏡を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】 このような目的達成のため、本発明に係る結像光学系は、対物レンズとこの対物レンズの光軸上に配設された固体浸レンズとを備えて構成され、この固体浸レンズが、対物レンズの光軸上の結像点を曲率中心とする所定曲率半径 R の凸球面状レンズ面と、この曲率中心を通り対物レンズの光軸に直角な平面状レンズ面とを有する平凸レンズ形状に構成され、凸

球面状レンズ面を対物レンズ側に向けるとともに平面状レンズ面を結像面に極く近接して配設してなる。その上で、結像光学系の開口数NAと、固体浸レンズの屈折率nと、要求される視野半径rと、使用する光の波長λと*

$$0.6n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^{-1} \leq \phi \leq 3.2n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^{-1}$$

・・・(1)

(但し、長さの単位はすべてミリメートル)

【0007】本発明の結像光学系は光ディスクの記録・再生用の光学系として使用することができ、この場合には、固体浸レンズの平面状レンズ面が光ディスクの記録・再生面に極く近接して配設され、このときに要求される視野半径rは、トラッキング制御においてトラックを数本〜数十本の範囲で操作するファインシークに要求さ※

*に対して、固体浸レンズの直径φが、次の条件式(1)を満足するように設定される。

【0006】

【数1】

※れる光ディスク上のレーザースポット変位量である。そして、この場合には、固体浸レンズの直径φが、さらに次の条件式(2)を満足するように設定するのが望ましい。

【0008】

【数2】

$$0.6n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^{-1} \leq \phi \leq 1.4n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^{-1}$$

・・・(2)

(但し、長さの単位はすべてミリメートル)

【0009】なお、固体浸レンズを、凸球面状レンズ面の曲率中心が平面状レンズ面上に位置する半球型の平凸レンズから構成、すなわち、半球状タイプの固体浸レンズとして構成することができ、平面状レンズ面が対物レンズの結像面に極く近接して配設される。

【0010】また、固体浸レンズを、光軸上での厚さtが $(1 + 1/n) \cdot R$ で、超半球型の平凸レンズから構成、すなわち、超半球状タイプの固体浸レンズとして構成することもでき、この場合も、平面状レンズ面が結像光学系の結像面に極く近接して配設される。

【0011】以上の結像光学系において、対物レンズを回折格子から構成しても良い。これにより結像光学系を小型、コンパクトにすることができる。

【0012】本発明に係る光ディスク記録再生装置は、上記の結像光学系を用いて構成され、平面状レンズ面が光記録再生用の記録媒体の表面に極く近接して固体浸レンズが配設され、対物レンズにより集光されて入射される光源からの光により平面状レンズ面に集光スポットを形成させ、この集光スポットを形成する光を用いて記録媒体(光ディスク)への情報記録および再生を行わせる。

【0013】本発明に係る顕微鏡は、結像光学系を顕微鏡対物レンズとして用いて構成され、平面状レンズ面が観察対象の表面に極く近接して配設されて構成される。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明においては、固体浸レンズにおいて発生する収差を計算・分析し、好ましい固体浸レンズのサイズを決定し、最適な結像光学系を得ており、まずこの計算・分析について説明する。

【0015】半球タイプの固体浸レンズ1を用いて構成される本発明に係る結像光学系の例を図1に示し、この結像光学系は光軸L上に対物レンズ5と固体浸レンズ1とを所定間隔をおいて図示のように配設して構成される。固体浸レンズ1は、光軸L上の点Oを中心とする曲

率半径Rの凸球面状レンズ面1aと、中心点Oを通り光軸Lに直交する平面からなる平面状レンズ面1bとからなる半球状の平凸レンズ系状に構成され、凸球面状レンズ面1aが対物レンズ5の方を向き、平面状レンズ面1bが対物レンズ5による結像面6に極く近接して(ほぼ重なる程度まで近接して)配設されている。なお、固体浸レンズ1が半球状であるため、この結像光学系においては、対物レンズ5の結像面6は結像光学系の結像面でもある。但し、固体浸レンズ2を設けずに対物レンズ5のみにより集光されて結像面に結像される集光スポット径に比べて、固体浸レンズ1を設けた結像光学系では集光スポット径が $1/n$ (但し、nは固体浸レンズ1の屈折率)となる。

【0016】一方、超半球タイプの固体浸レンズ2を用いて構成される結像光学系の例を図2に示し、この結像光学系は光軸L上に対物レンズ5と固体浸レンズ2とを所定間隔をおいて図示のように配設して構成される。固体浸レンズ2は、光軸L上の点Oを中心とする曲率半径Rの凸球面状レンズ面2aと、光軸Lに直交する平面からなる平面状レンズ面2bとからなる超半球状の平凸レンズ系状に構成され、凸球面状レンズ面2aが対物レンズ5の方を向き、平面状レンズ面2bが結像光学系の結像面7と極く近接して(ほぼ重なる程度まで近接して)配設されている。固体浸レンズ2は超半球状であり、光軸L上における固体浸レンズ2の厚さ(凸球面状レンズ面2aと光軸Lとの交点Pから平面状レンズ面2bまでの光軸Lに沿った距離)は $(1 + 1/n) \cdot R$ である。

【0017】この結像光学系においては、対物レンズ5により集光されて固体浸レンズ2に入射した光による結像面7(すなわち、結像光学系の結像面7)が、固体浸レンズ2の平面状レンズ面2bに極く近接して位置する。なお、対物レンズ5のみによる結像面は、図2において破線で示すように、凸球面状レンズ面2aと光軸Lとの交点Pから光軸Lに沿って距離 $(1 + n) \cdot R$ の位

置になる。この結像光学系においても、固体浸レンズ2の作用により、対物レンズ5のみにより集光されて結像面に結像される集光スポット径に比べて、集光スポット径が $1/n'$ （但し、 n は固体浸レンズ1の屈折率）となる。

【0018】以上のような結像光学系において、固体浸レンズ1、2が正確な球面および平面形状を有していれば光学的に無収差となるが、ここで固体浸レンズ1、2の厚さ（光軸上での厚さ）が変化した場合の収差を検討する。入射光の波長 $\lambda = 450 \text{ nm}$ 、開口数 $NA = 1.26$ 、固体浸レンズの屈折率 $n = 1.8$ 、固体浸レンズの直径 $\phi = 0.5 \text{ mm}$ （半径 $R = 0.25 \text{ mm}$ ）とした場合に、固体浸レンズの光軸上の厚さが正確な厚さから変化した場合の波面収差の変化を演算し、その結果を表1に示す。なお、表1において、上側の表は半球タイプの固体浸レンズ1の場合、下側の表は超半球タイプの固体浸レンズ2の場合を示す。

【0019】

【表1】

半球の場合

厚み変化(mm)	波面収差($\lambda \text{ rms}$)
0.010	0.0039
0.020	0.0148
0.030	0.0315
0.040	0.0524
0.050	0.0749

超半球の場合

厚み変化(mm)	波面収差($\lambda \text{ rms}$)
0.001	0.0110
0.002	0.0224
0.003	0.0340
0.004	0.0458
0.005	0.0576
0.006	0.0694
0.007	0.0809

【0020】このような波面収差変化において、収差限界として一般的な回折限界の目安である $0.07 \lambda \text{ rms}$ (Root Mean Square)をとると、半球タイプの固体浸レンズ1の許容変化量は約 $50 \mu\text{m}$ であり、超半球タイプの固体浸レンズ2の許容変化量は約 $6 \mu\text{m}$ である。このように、厚さ変動に対して、半球タイプの固体浸レンズ1は超半球タイプに比べて一桁強いという結果となるが、これは半球タイプの固体浸レンズ1における光の入射角が常に零となることに鑑みれば当然のことであり、この

点においては、固体浸レンズとしては半球タイプの方がすぐれていると言える。従って、以下の考察ではすべて半球タイプの固体浸レンズを仮定して説明する。

【0021】次に、像面上において、ある有限な視野サイズが要求される場合を考える。例えば、光ディスクを用いた光記録再生装置においては、いわゆるファインシークやトラッキングサーボ等のため、集光されたレーザースポットは光軸上だけでなく、光軸を含む周囲の決められた範囲で動かなければならない。このため、有限な視野サイズに対する要求が出てくるのでこの点を検討する。

【0022】表2に、入射光の波長 $\lambda = 450 \text{ nm}$ 、開口数 $NA = 1.26$ 、固体浸レンズの屈折率 $n = 1.8$ とした場合に、集光点が光軸から一定距離だけ離れたとき（すなわち有限な像高をもったとき）に、波面収差を $0.07 \lambda \text{ rms}$ 以下に抑えるために必要な固体浸レンズの直径 ϕ を示している。この表の関係から分かるように、像高が変化したときに同じ波面収差に抑えるには固体浸レンズの直径は像高の自乗に比例して大きくななければならない。つまり、固体浸レンズの直径 ϕ は像高あるいは有効視野の自乗に比例する。

【0023】

【表2】

表2

像高(mm)	必要なSIL直径(mm)
0.005	0.11
0.010	0.44
0.015	1.00
0.020	1.78

【0024】表3は、入射光の波長 $\lambda = 450 \text{ nm}$ 、固体浸レンズの屈折率 $n = 1.8$ 、像高 0.01 mm とした場合に、開口数 NA が変化したときに波面収差を $0.07 \lambda \text{ rms}$ 以下に抑えるために必要な固体浸レンズの直径 ϕ を示している。この表の関係から、開口数 NA が変化したときに同じ波面収差に抑えるには、固体浸レンズの直径 ϕ は開口数 NA の自乗に比例して大きくななければならないことが分かる。つまり、固体浸レンズの直径 ϕ は開口数 NA の自乗に比例する。

【0025】

【表3】

表3

NA	必要なSIL 直径(mm)
0.8	0.17
1.0	0.26
1.2	0.38
1.4	0.52

【0026】表4は、入射光の波長 $\lambda = 450\text{ nm}$ 、開口数 $NA = 1.44$ 、像高 0.01 mm とした場合に、固体浸レンズの屈折率 n が変化したときに波面収差を $0.07\lambda\text{ rms}$ 以下に抑えるために必要な固体浸レンズの直径 ϕ を示している。この表の関係から、屈折率 n が変化したときに同じ波面収差に抑えるには固体浸レンズの直径 ϕ は屈折率 n に比例して大きくななければならないことが分かる。つまり、固体浸レンズの直径 ϕ は屈折率 n に比例する。

【0027】

【表4】

表4

SIL 屈折率	必要なSIL 直径(mm)
1.7	0.52
1.8	0.55
1.9	0.58
2.0	0.61

【0028】表5は、開口数 $NA = 1.26$ 、像高 0.01 mm 、固体浸レンズの屈折率 $n = 1.8$ とした場合に、入射光の波長 λ が変化したときに波面収差を約 $0.07\lambda\text{ rms}$ 以下に抑えるために必要な固体浸レンズの直径 ϕ を示したものである。この表の関係から、波長が変化したときに同じ波面収差に抑えるには固体浸レンズの直径 ϕ は波長に反比例して大きくななければならないことが分かる。つまり、固体浸レンズの直径 ϕ は、波長 λ に反比例する。

【0029】

【表5】

表5

波長 (nm)	必要なSIL 直径(mm)
500	0.40
450	0.44
400	0.50
350	0.57

10

【0030】以上述べた関係については、以下のように定性的に説明することができる。まず、有限像高の集光点に結像する場合に発生する収差の種類であるが、これはほぼ全てが非点収差である。この波面収差の一例を図3に示しており、この収差図は明らかに非点収差そのものの特徴を示している。なお、周知の通り、非点収差は像高と開口数 NA の自乗に比例する。一方、開口数 NA と像高を一定にした場合、固体浸レンズのサイズと波面収差は表5から分かるとおり反比例する。これらの事実

20

に鑑みれば、表2および表3の関係は首肯できる。【0031】固体浸レンズのサイズと波面収差とが反比例する理由も定性的に説明できる。いま、固体浸レンズのサイズすなわち直径 $\phi = 1\text{ mm}$ 、像高 0.01 mm の場合を考える。このときの収差を W とすると、この状態で像高のみを2倍、つまり 0.02 mm にすると、非点収差の性質から収差は4倍、すなわち $4W$ となる。一方、固体浸レンズのサイズ(直径)を2倍にすると、相似関係を保ったまま大きさのみを2倍にすることであり、収差は2倍すなわち $2W$ となるはずである。このように、 $4W$ の収差を固体浸レンズのサイズを2倍にすることにより $2W$ に低減したのであるから、固体浸レンズのサイズと非点収差は反比例の関係にあることが分かる。

30

【0032】次に、固体浸レンズのサイズと固体浸レンズの屈折率 n とが比例するという点であるが、いま、通常とは逆に固体浸レンズの像面上、すなわち、固体浸レンズの平面状レンズ面に点物体があると仮定する。この点物体から出て固体浸レンズを逆に通って進む光は、固体浸レンズの球面状レンズ面から出射した後、発散する。この発散する光の波面の球面からのずれが固体浸レンズの収差であると考えられる。この収差は、発散光を逆追跡し、虚像位置での収差を計算することで得られる。この虚像の倍率は n 倍となる。したがって、光線収差もほぼ n 倍されるから波面収差も n 倍である。一方、虚像の像高は n 倍となり、且つ虚像を作る光束の開口数 NA は $1/n$ 倍となる。よって、像高、開口数 NA の変化による収差の増減は相殺される。従って、固体浸レンズの非点収差は屈折率 n に比例し、固体浸レンズは屈折率 n に比例して大きくする必要があることが分かる。

50

【0033】最後に、固体浸レンズのサイズが波長に反比例することについては、波面収差が波長に反比例することを考えれば明らかである。

【0034】以上のことから、固体浸レンズの直径 ϕ 、屈折率 n 、開口数 NA 、要求される視野半径 r に対して、同一収差を保つためには、比例定数 C を用いて、次式(3)の関係が必要となる。

【0035】

【数3】

$$\phi = C \cdot n \cdot NA^2 \cdot r^2 \cdot \lambda^2 \quad \dots (3) \quad 10$$

(但し、長さの単位はすべてミリメートル)

【0036】一般に回折限界の基準として用いられているのは波面収差 0.07λ rmsである。ここで前述のように、表5は、開口数 $NA=1.26$ 、像高 0.01mm 、固体浸レンズの屈折率 $n=1.8$ とした場合に、入射光の波長 λ が変化したときに波面収差を約 0.07λ rms(ストレーラ強度 0.8)以下に抑えるために必要な固体浸レンズの直径 ϕ を示したものであり、表5の値を上記式(3)に代入して比例定数 C を求めると、 $C=0.6$ という値がほぼ該当する。また、 $C=1.4$ のとき

20

に波面収差はほぼ 0.035λ rms(ストレーラ強度 0.95)となり、 $C=3.2$ のときに波面収差はほぼ 0.016λ rms(ストレーラ強度 0.95)となる。

【0037】ここで、光ディスクの記録再生や、顕微鏡の解像力増大に固体浸レンズを用いる場合は固体浸レンズのサイズは小さい方がよい。但し、収差の最低基準(波面収差を約 0.07λ rms以下に抑えるという基準)から固体浸レンズのサイズ(直径)は最小でも(3)式で $C=0.6$ となる値に設定するのが好ましい。一方、視野最外周で波面収差を 0.016λ rmsより小さくするのはオーバースペックとなり事実上意味がないから、固体浸レンズの上限は(3)式で $C=3.2$ とするのが好ましい。このような条件を示すのが前述の条件式(1)である。但し、フライングヘッドに装着するなどの理由から一層の小型化が望まれる場合には、サイズを優先することになる。この場合、視野最外周で波面収差 0.035λ rmsが保たれれば十分であると考えられ、固体浸レンズの上限は(3)式で $C=1.4$ とするのが好ましい。この条件に対応する条件式が前述の条件式(2)である。

【0038】

【実施例】図4に本発明に係る結像光学系を用いた光ディスク記録再生装置を示している。この装置においては、光源11から出たレーザービームはレンズ12により平行光束となり、ビームスプリッタ13を通過し、ミラー14、15を経てミラー21に至る。このレーザー光の経路を図中に矢印A1、A2、A3で示している。このミラー21は反射面に回折レンズとして働くグレーティングが刻まれており対物レンズとしての作用をなし、ミラー21に照射されたレーザービームはここで反射される

50

とともに収束光となる。もちろん、ミラー15とミラー21との間、もしくはミラー21の下方に通常の対物レンズを配設しても良い。

【0039】ミラー21は、ボイスコイルモータ17aにより揺動されるスイングアーム17の先端に取り付けられている。スイングアーム17の先端の下面側にはさらに、ジンバル25によって支えられたスライダ26が取り付けられており、スライダ26上に固体浸レンズ22が配設されている。なお、回折レンズとして働くミラー21と固体浸レンズ22により本発明に係る結像光学系20が構成される。上記のように収束光となったビームは、矢印A4で示すように、固体浸レンズ22に入射し、その底面(平面状レンズ面)に集光スポットを形成する。このときの集光スポット径は、ミラー21の回折レンズ作用のみにより形成される集光スポット径の $1/n$ (但し、 n は固体浸レンズの屈折率)となる。

【0040】ここで、スライダ26は、光ディスク18の回転に伴って発生する空気ベアリング効果により、光ディスク18の表面から極く僅かに浮上した状態であり、固体浸レンズ22の底面と光ディスク18の表面との間隔は入射光の波長のほぼ $1/10$ 以下に抑えられている。このため、固体浸レンズ22の底面に形成された集光スポット光は、この間隔を通して通常の進行波とエバネッセント波の両方が光ディスク18の表面に伝達され、ここに記録された情報を含んだ反射光となって取り出される。

【0041】このように光ディスク18の表面から反射されてくる記録情報を含んだ光は、固体浸レンズ22、ミラー21、15、14を介して上記と逆の経路(A4、A3、A2、A1の順に向かう経路)を辿って伝達され、ビームスプリッタ13に入射される。この光はビームスプリッタ31において反射されて矢印A0で示すように伝わり、検出器32に入射してここで電気信号に変換される。

【0042】なお、このような光情報の記録再生を行うときに、光ディスク18の上でのファインシークおよびトラッキングサーボを行うため、ミラー15は微少な光偏向を行うようになっている。このため、固体浸レンズ22は有限な視野を確保しなくてはならないが、例えば、この例においては視野半径 0.01mm が要求される。ここで、光源からの光の波長 $\lambda=450\text{nm}$ 、固体浸レンズの開口数 $NA=1.26$ 、屈折率 $n=1.8$ で、視野半径が 0.01mm のときに、固体浸レンズが直径 $\phi=0.5\text{mm}$ であれば、前述の条件式を満足する。

【0043】図5には本発明に係る結像光学系50を顕微鏡対物レンズとして用いた光学顕微鏡の構成例を示している。この装置において、光源41から射出された光はコンデンサレンズ42を通過してハーフミラー43で反射され、対物レンズ51および固体浸レンズ52から構

成される顕微鏡対物レンズ50に入射する（B1、B2で示す経路を通る）。ここで、対物レンズ51により収束光となった光は固体浸レンズ52に入射して固体浸レンズ52の底面（平面状レンズ面）に集光スポットを形成し、ステージ44上の試料45を照明する。なお、固体浸レンズ52は対物レンズ51との距離を一定に保つため、保持部材55によって保持されている。

【0044】このようにして試料45に照射されて反射した光は、再び固体浸レンズ52、対物レンズ51を通過してハーフミラー43を通過し、像面46に実像を形成する。なお、目視観察の場合には、この実像を接眼レンズにより拡大して見ることになる。このような場合の顕微鏡対物レンズ50を構成する固体浸レンズ52は、例えば、光源からの光の波長 $\lambda = 450\text{ nm}$ 、固体浸レンズの開口数 $NA = 1.26$ 、屈折率 $n = 1.8$ で、有効視野半径が 0.01 mm で、固体浸レンズが直径 $\phi = 1.8\text{ mm}$ であれば、前述の条件式を満足する。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、結像光学系の開口数 NA と、固体浸レンズの屈折率 n と、要求される視野半径 r とに対して、前述の条件式（1）もしくは（2）を満足するように固体浸レンズの直径 ϕ を設定するので、要求される視野半径を満足するとともにサイズを最適範囲内で最小にした結像光学系を得ることができる。本発明ではこのような結像光学系を用いて光ディスク記録再生装置が構成され、結像光学系*

*が小型軽量化できるのでこれにより、この装置を構成する可動部分の軽量化を図ることができる。また、本発明ではこのような結像光学系を顕微鏡対物レンズとして用いて顕微鏡が構成されるが、固体浸レンズを小型化して対物レンズの作動距離を確保することが容易となるという効果を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】半球状タイプの固体浸レンズを用いた本発明に係る結像光学系を示す正面図である。

10 【図2】超半球状タイプの固体浸レンズを用いた本発明に係る結像光学系を示す正面図である。

【図3】本発明に係る結像光学系を構成する固体浸レンズの波面収差図である。

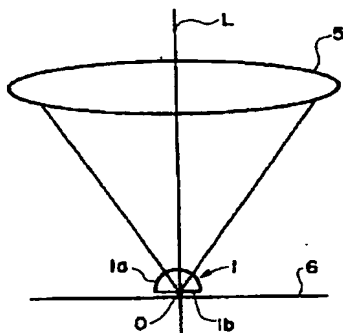
【図4】本発明に係る結像光学系を用いた光ディスク記録再生装置の構成を示す概略図である。

【図5】本発明に係る結像光学系を顕微鏡対物レンズとして用いて構成される顕微鏡の構成を示す概略図である。

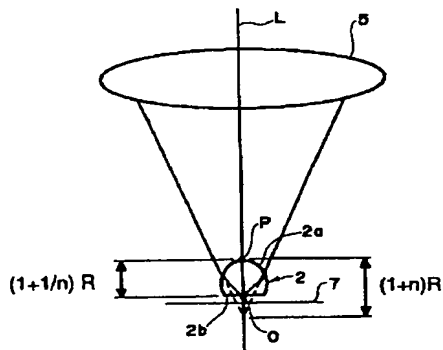
【符号の説明】

- 20 1 半球タイプの固体浸レンズ
2 超半球タイプの固体浸レンズ
1a, 2a 凸球面状レンズ面
1b, 2b 平面状レンズ面
5 対物レンズ
6 結像面

【図1】



【図2】

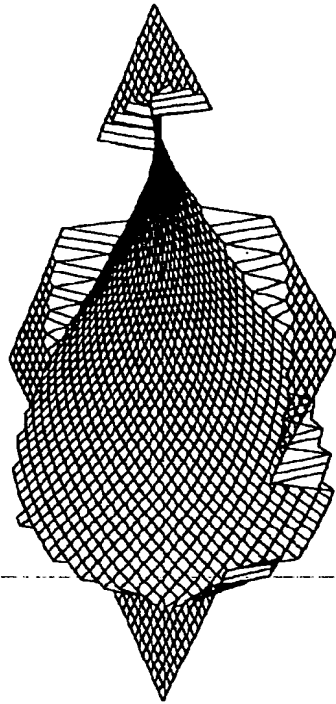
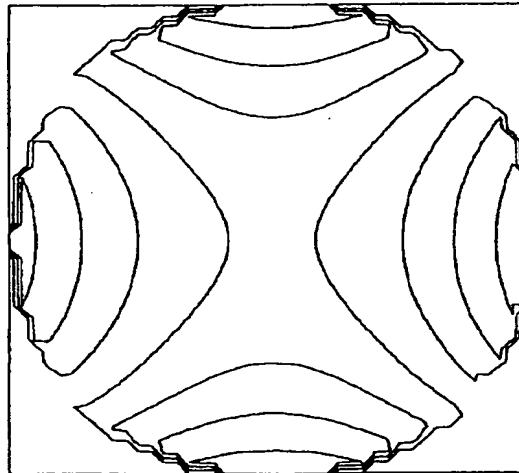


【図3】

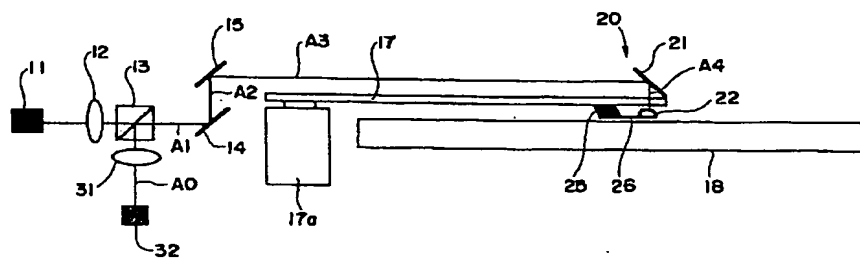
OBJECT HEIGHT: 0.000 IMAGE HEIGHT: -0.018 DEFOCUS: 0.00031 WAVE LENGTH: 450.0000 (nm)

R.M.S of wave front aberration : 0.0795
 Max of wave front aberration : 0.1873
 Min of wave front aberration : -0.1895
 Focal Length (beta) : 1.8000
 Y-shift : 0.0024 (micro meter)
 Z-shift : 0.0000 (micro meter)

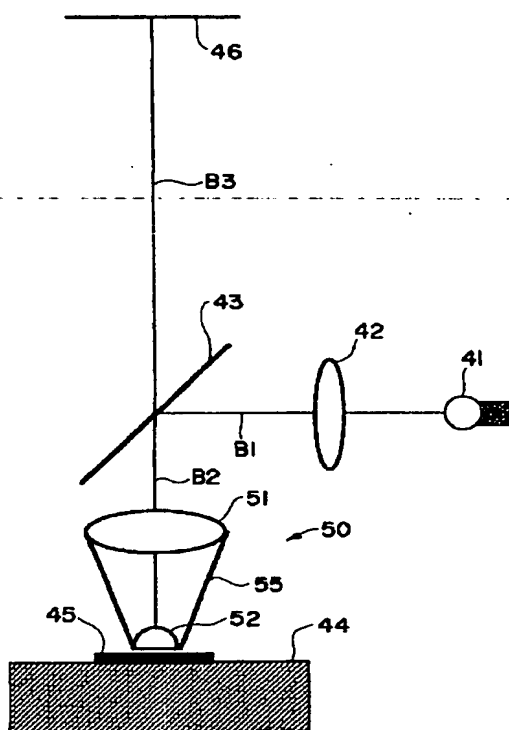
contour: -0.150 --> 0.200 pitch: 0.05



【図4】



【図5】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H052 AB01 AB02 AC04
 2H087 KA09 KA13 LA01 NA00 QA01
 QA13 RA46
 5D090 AA01 CC01 CC04 CC16 DD03
 DD05 FF02 LL02 LL03 LL04
 5D119 AA11 AA22 BA01 CA05 CA06
 DA01 DA05 EC21 JA44 JB02
 JB03 LB10 MA05 MA06

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.